

Materialien für Implantate Fragenkatalog – Metalle

Grundlage bilden die Folien von Prof. Seidenfuß aus dem WS 17/18 und die Gedächtnisprotokolle der letzten Jahre. Die Fragen, die in den Gedächtnisprotokollen enthalten sind, sind farblich markiert.

Bei Anmerkungen oder Fehlern bitte Mail an Istraub@fsmach.uni-stuttgart.de

Fragen:

- 1) *Was charakterisiert amorphe und kristalline Atomanordnung? Zeichnen Sie.*
- 2) *Zeichnen Sie eine kubisch raumzentrierte Gitterstruktur und nennen Sie zwei Beispiele für Elemente, die krz vorliegen. Wie lassen sich diese verformen?*
- 3) *Zeichnen Sie eine kubisch flächenzentrierte Gitterstruktur und nennen Sie zwei Beispiele für Elemente, die krz vorliegen. Wie lassen sich diese verformen?*
- 4) *Zeichnen Sie eine hexagonal-dichtest-gepackte Gitterstruktur und nennen Sie zwei Beispiele für Elemente, die hdp vorliegen. Wie lassen sich diese verformen?*
- 5) *Definieren Sie Polymorphie. Wie läuft der Prozess bei reinen Metallen in der Regel ab?*
- 6) *Welche Änderungen des Werkstoffs gehen mit der Umwandlung der Gitterstruktur einher?*
- 7) *Wie lässt sich die Umwandlungstemperatur eines Werkstoffs steuern?*
- 8) *Wie können Gitterfehler eingeteilt werden? (vier Erscheinungsformen mit Beispiel)*
- 9) *Definieren Sie Legierung.*
- 10) *Durch welche Effekte kommt es bei Legierungen zu einer Festigkeitserhöhung?*
- 11) *Zeichnen und erklären Sie das Linsendiagramm eines Zweistoffsystems.*
- 12) *Was passiert mit einer Legierungsschmelze am eutektischen Punkt?*
- 13) *Was charakterisiert austenitischen und ferritischen Stahl?*
- 14) *Wie ist das Hookesche Gesetz definiert?*
- 15) *Was gibt der E-Modul an? Nennen Sie einen Stoff mit hohem und einen mit niedrigem E-Modul.*
- 16) *Zeichnen Sie die Spannungs-Dehnungs-Diagramme für hyperelastische und anelastische Verformung.*
- 17) *Wie brechen spröde bzw. duktile Werkstoffe mit/ohne ausgedehnte Fließgrenze?*
- 18) *Definieren Sie Härte.*
- 19) *Nennen Sie drei Methoden zur Härteprüfung.*
- 20) *Beschreiben Sie das Messverfahren zur Härtebestimmung nach Vickers.*
- 21) *Für welche Belastung sind Rastlinien an der Bruchkante charakteristisch?*
- 22) *Nennen Sie vier biomedizinische Anforderungen an einen Implantatwerkstoff.*
- 23) *Nennen Sie Beispiele für Biotolerante, Bioinerte und Bioaktive Metalle.*
- 24) *Welche Eigenschaften hat ferritischer, rostfreier Stahl? Wie wird er im medizinischen Bereich eingesetzt?*
- 25) *Warum sind rostfreie ferritische Stähle korrosionsbeständig und unter welchen Bedingungen kann trotzdem Korrosion auftreten?*
- 26) *Was ist Edelstahl?*

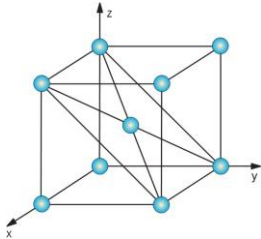
- 27) *Welche Eigenschaften hat austenitischer Stahl?*
- 28) *Welche Elemente werden austenitischem Stahl meist zulegiert?*
- 29) *Wie werden austenitische Stähle in der Medizintechnik angewendet?*
- 30) *Welche Probleme könne in Bezug auf die Biokompatibilität bei austenitischen Stählen auftreten?*
- 31) *In welchen Konformationen kann Titan vorliegen?*
- 32) *Wie heißt die Eigenschaft eines Metalls bei einer bestimmten Temperatur seine Konformation zu ändern?*
- 33) *Welche mechanischen Eigenschaften hat Titan?*
- 34) *Wie werden Titanlegierungen in der Medizintechnik angewendet?*
- 35) *Welche Elemente werden in Titanlegierungen verwendet?*
- 36) *Wodurch wird die Biokompatibilität von Titan maßgeblich bestimmt?*
- 37) *Wie lassen sich die Formgedächtniseigenschaften von Titan untergliedern? Wie funktionieren diese?*
- 38) *Welche mechanischen Eigenschaften hat Kobalt?*
- 39) *Nennen Sie Vor- und Nachteile von Kobaltlegierungen in Bezug auf die Biokompatibilität.*
- 40) *Wie werden Kobaltlegierungen in der Medizintechnik angewendet?*
- 41) *Welche mechanischen Eigenschaften hat Magnesium?*
- 42) *Wieso ist Korrosion ein Problem bei Magnesium?*
- 43) *Wieso eignet sich Magnesium zur Herstellung von resorbierbaren Implantaten?*
- 44) *Magnesiumbasierte Implantate sind Gegenstand aktueller Forschung. Welche Anwendungen gelten als aussichtsreich?*
- 45) *Nennen Sie verschiedene Voraussetzungen für elektrochemische Korrosion von Metallen, die neben einem Elektrolyt vorliegen müssen.*
- 46) *Wodurch entsteht Kontaktkorrosion?*
- 47) *Was ist Reibkorrosion?*
- 48) *Wie entsteht Spannungskorrosion?*
- 49) *Definieren Sie Verschleiß.*
- 50) *Nennen Sie Faktoren von denen Reibung und Verschleiß abhängen.*
- 51) *Was ist Ablation?*

Antworten:

- 1) *Was charakterisiert amorphe und kristalline Atomanordnung? Zeichnen Sie.*
 Amorph $\triangleq$ regelloser Anordnung, kristallin $\triangleq$ regelmäßiger Anordnung (Gitter)

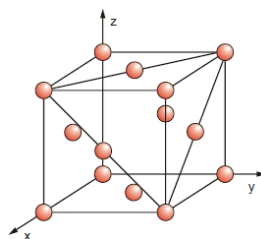


- 2) *Zeichnen Sie eine kubisch raumzentrierte Gitterstruktur und nennen Sie zwei Beispiele für Elemente, die krz vorliegen. Wie lassen sich diese verformen?*



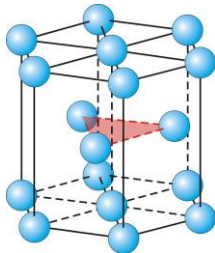
α -Fe (Ferrit), Mn, Cr, Mo, W. Mäßig bis gut plastisch verformbar.

- 3) *Zeichnen Sie eine kubisch flächenzentrierte Gitterstruktur und nennen Sie zwei Beispiele für Elemente, die kfz vorliegen. Wie lassen sich diese verformen?*



γ -Fe (Austenit), Cu, Al, Ni, Pb, Ag, Au. Gut plastisch verformbar.

- 4) *Zeichnen Sie eine hexagonal-dichtest-gepackte Gitterstruktur und nennen Sie zwei Beispiele für Elemente, die hdp vorliegen. Wie lassen sich diese verformen?*



Mg, Cd, Zn, α -Ti, α -Co. Schlecht plastisch verformbar.

- 5) *Definieren Sie Polymorphie. Wie läuft der Prozess bei reinen Metallen in der Regel ab?*
 Polymorphie ist die Umwandlung zwischen zwei Gitterstrukturen bei Über- bzw. Unterschreiten einer bestimmten Temperatur. Bei reinen Metallen findet die Umwandlung sprunghaft statt.
- 6) *Welche Änderungen des Werkstoffs gehen mit der Umwandlung der Gitterstruktur einher?*
 Änderung von spezifischem Volumen, mechanischen, und den meisten physikalischen Eigenschaften.
- 7) *Wie lässt sich die Umwandlungstemperatur eines Werkstoffs steuern?*
 Die Umwandlungstemperaturen können durch die Zusammensetzung von Legierungen bestimmt werden.

- 8) *Wie können Gitterfehler eingeteilt werden? (vier Erscheinungsformen mit Beispiel)*
 nulldimensional (Punktfehler, z.B. Leerstelle, Zwischengitteratom, Substitutionsatom),
 eindimensional (Linienfehler, z.B. Versetzungen durch eingeschobene Halbebene),
 zweidimensional (Flächenfehler, z.B. Stapelfehler, Winkelkorngrenzen) und dreidimensional
 (räumliche Fehler, räumliche Ansammlung eindimensionaler Fehler)

- 9) *Definieren Sie Legierung.*

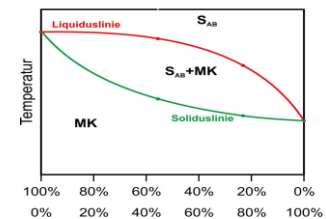
Eine Legierung ist ein Metall, das aus zwei oder mehr chemischen Elementen besteht.

- 10) *Durch welche Effekte kommt es bei Legierungen zu einer Festigkeitserhöhung?*

Gitterverzerrung im Mischkristall, Kanten zwischen Phasen (zweiphasiges Gefüge) oder um Ausscheidung herum.

- 11) *Zeichnen und erklären Sie das Linsendiagramm eines Zweistoffsystems.*

Das Linsendiagramm beschreibt für eine Legierung aus zwei Komponenten den Übergang zwischen Schmelze und Mischkristall in Abhängigkeit von der Temperatur. Bei Erwärmung und Abkühlung sind für gleiche Verteilungen zwischen Schmelze und Mischkristall unterschiedliche Temperaturen notwendig.



- 12) *Was passiert mit einer Legierungsschmelze am eutektischen Punkt?*

Beide Legierungsbestandteile werden gleichzeitig kristallin. Das Mischungsverhältnis bei dem dieses Phänomen auftritt heißt Eutektikum.

- 13) *Was charakterisiert austenitischen und ferritischen Stahl?*

Austenit: kfz, korrosionsbeständig, nicht magnetisch, gut verformbar

Ferrit: krz, magnetisch, sehr weich und verformbar

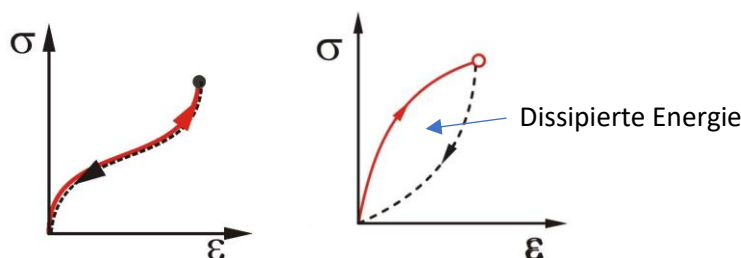
- 14) *Wie ist das Hookesche Gesetz definiert?*

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

- 15) *Was gibt der E-Modul an? Nennen Sie einen Stoff mit hohem und einen mit niedrigem E-Modul.*

Der E-Modul ist die Steigung des Graphen der Spannungs-Dehnungs-Kurve eines Werkstoffs im linearelastischen Bereich. Er ist somit ein Maß für den Widerstand, den ein Material seiner Verformung entgegensetzt. Stahl hat hohen E-Modul, Elastomere wie Kautschuk einen niedrigen.

- 16) *Zeichnen Sie die Spannungs-Dehnungs-Diagramme für hyperelastische und anelastische Verformung.*



- 17) *Wie brechen spröde bzw. duktile Werkstoffe mit/ohne ausgedehnte Fließgrenze?*

Spröd: Trennbuch, Bruchkante senkrecht zu Spannungsrichtung

ausgedehnte Streckgrenze: Mischbruch mit Einschnürung

ohne Streckgrenze: Gleit- oder Schiebruchsbruch

- 18) *Definieren Sie Härte.*

Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen, härteren Körpers entgegenbringt.

- 19) *Nennen Sie drei Methoden zur Härteprüfung.*
Ritzhärte (Mohs), Eindringhärte (Vickers [Pyramide], Brinell [Kugel]), Rückprallhärte, Schlaghärte.
- 20) *Beschreiben Sie das Messverfahren zur Härtebestimmung nach Vickers.*
Eine Diamantpyramide dient als Eindringkörper. Diese wird in einer bestimmten Zeit mit einer bestimmten Kraft auf den Werkstoff aufgebracht. Der Krater wird anschließend vermessen. Aus Kraft und Oberfläche des Kraters wird die Härte errechnet.
- 21) *Für welche Belastung sind Rastlinien an der Bruchkante charakteristisch?*
Zyklische Belastung
- 22) *Nennen Sie vier biomedizinische Anforderungen an einen Implantatwerkstoff.*
nicht toxisch, nicht immunreaktiv, bioaktiv, keimtötend, sterilisierbar, nicht koagulativ
- 23) *Nennen Sie Beispiele für Biotolerante, Bioinerte und Bioaktive Metalle.*
Biotolerant: rostfreier Stahl, CoCr-Legierungen
Bioinert: Titan, Niob
Bioaktiv: einige Titanlegierungen
- 24) *Welche Eigenschaften hat ferritischer, rostfreier Stahl? Wie wird er im medizinischen Bereich eingesetzt?*
Gitter krz, α -Mischkristall, gute Korrosionsbeständigkeit durch Cr_2O_3 -Deckschicht, R_e 260-600 MPa, ferromagnetisch -> nicht MRT-geeignet. Einsatz vor allem in chirurgischen Instrumenten und Dentaldrähten.
- 25) *Warum sind rostfreie ferritische Stähle korrosionsbeständig und unter welchen Bedingungen kann trotzdem Korrosion auftreten?*
Durch Chromanteil von über 12% bildet sich eine stabile Chromoxidschicht. Bei physiologisch erhöhter lokaler Chloridkonzentration kann die Korrosionsneigung erhöht sein.
- 26) *Was ist Edelstahl?*
Edelstahl ist ein Eisenwerkstoff mit besonderen Eigenschaften wie niedrigem Schwefel- oder Phosphorgehalt. Jeder austenitische Stahl ist ein Edelstahl aber nicht jeder Edelstahl ist ein Austenit.
- 27) *Welche Eigenschaften hat austenitischer Stahl?*
Gitter kfz, γ -Mischkristall, gute Korrosionsbeständigkeit durch Cr_2O_3 -Deckschicht (meist besser als bei Ferrit), R_e 190-400 MPa, gut verformbar und elastisch, nicht ferromagnetisch, bei Raumtemperatur nur als Legierung mit Chrom und Nickel stabil
- 28) *Welche Elemente werden austenitischem Stahl meist zulegiert?*
Chrom, Nickel, Mangan, Molybdän
- 29) *Wie werden austenitische Stähle in der Medizintechnik angewendet?*
Kanülen, chirurgische Instrumente, Schrauben, Nägel, Fixationssysteme, Endoprothesen.
- 30) *Welche Probleme können in Bezug auf die Biokompatibilität bei austenitischen Stählen auftreten?*
Allergien durch Chrom und Nickel. Prothesenlockerung durch Sensibilisierung und Immunantwort (Makrophagen und Fremdkörperriesenzellen, die versuchen Fremdstoffe zu beseitigen). Erhöhte Konzentration von Cr und Ni Ionen im Blut.
- 31) *In welchen Konfigurationen kann Titan vorliegen?*
 α -Titan, hexagonal-dichtest-gepackt (hcp), $T > 882^\circ\text{C}$: β -Titan, krz. Übergangstemperatur beeinflussbar durch Legierungselemente.

- 32) *Wie heißt die Eigenschaft eines Metalls bei einer bestimmten Temperatur seine Konformation zu ändern?*
Allotropie
- 33) *Welche mechanischen Eigenschaften hat Titan?*
geringer E-Modul (<115 GPa), geringe Härte, in Legierung $R_e=320 \dots 1280$ MPa, höchste Korrosionsbeständigkeit durch TiO_2 Deckschicht, nicht ferromagnetisch
- 34) *Wie werden Titanlegierungen in der Medizintechnik angewendet?*
Dental- und Endoprothetik, Nägel, Schrauben, Platten
- 35) *Welche Elemente werden in Titanlegierungen verwendet?*
Vanadium (V), Niob (Nb), Aluminium, Eisen
- 36) *Wodurch wird die Biokompatibilität von Titan maßgeblich bestimmt?*
Die Bildung einer TiO_2 Schicht ist Voraussetzung für eine gute Biokompatibilität. Je nach Legierung und Oberflächenbeschaffenheit Bindung bzw. Wachstum von Knochen.
- 37) *Wie lassen sich die Formgedächtniseigenschaften von Titan untergliedern? Wie funktionieren diese?*
Allgemein: durch Erwärmen bzw. Abkühlen findet Übergang zwischen zwei Gitterstrukturen statt, bei dem die ursprüngliche Form wiederhergestellt wird.
Einweg-Effekt: Bauteil bei RT verformen $\rightarrow$ Erwärmen $\rightarrow$ springt in ursprüngliche Form
Zweiweg-Effekt: Bauteil Erwärmen $\rightarrow$ Form ändert sich $\rightarrow$ Abkühlen bringt ursprüngliche Form zurück
Pseudoelastizität: Bauteil wird belastet und nimmt bei Entlastung wieder die ursprüngliche Gestalt an.
- 38) *Welche mechanischen Eigenschaften hat Kobalt?*
Allotrop, α -Kobalt (hdp), bei $T > 400^\circ C$ β -Kobalt (kfz), hochfest ($R_{p0,2}=450$ MPa bis 1900 MPa bei Legierungen), Korrosionsbeständigkeit und MRT-Kompatibilität erst durch Legierung.
- 39) *Nennen Sie Vor- und Nachteile von Kobaltlegierungen in Bezug auf die Biokompatibilität.*
+ hochfest, widerstandsfähig, abriebfest, geringer Verschleiß durch Metall-Metall-Gleitpaarung
- erhöhte Metallionenkonzentration im Blut $\rightarrow$ Allergien, teilweise Toxizität, bei Materialversagen hohe Freisetzung von Partikeln und Ionen, bei Nierenschädigung kontraindiziert wegen Ausscheidung der Ionen.
- 40) *Wie werden Kobaltlegierungen in der Medizintechnik angewendet?*
Endoprothetik, Platten und Schrauben, Herzklappen, Drähte, chirurgische Instrumente
- 41) *Welche mechanischen Eigenschaften hat Magnesium?*
Gitter: hdp, geringes E-Modul (44 GPa), geringe Festigkeit ($R_{p0,2}=170$ MPa), sehr schlecht korrosionsbeständig aber MRT-kompatibel.
- 42) *Wieso ist Korrosion ein Problem bei Magnesium?*
Magnesium ist ein sehr unedles Metall. Die sich ausbildende Hydroxid-Schutzschicht ist porös, deshalb besteht kein dauerhafter Korrosionsschutz. Bei der Ausbildung von Magnesiumhydroxid bildet sich auch elementarer Wasserstoff, der bei großen Magnesiummengen sich in Taschen sammeln kann. Durch Al, Mg und Zn Legierungen lässt sich die Korrosionsbeständigkeit deutlich verbessern.
- 43) *Wieso eignet sich Magnesium zur Herstellung von resorbierbaren Implantaten?*
Magnesium ist sehr gut Bioverträglich und die Degradationsrate lässt sich gut anpassen. Ebenso sind Dichte und Festigkeit durch Legierungen gut steuerbar. Das Oxidationsprodukt Magnesiumhydroxid wirkt osteoproliferativ.

- 44) *Magnesiumbasierte Implantate sind Gegenstand aktueller Forschung. Welche Anwendungen gelten als aussichtsreich?*
Stents, Knochenimplantate, Schrauben und Nägel, Drug Delivery, Metallische Gläser
- 45) *Nennen Sie verschiedene Voraussetzungen für elektrochemische Korrosion von Metallen, die neben einem Elektrolyt vorliegen müssen.*
Zwei unterschiedlich edle Metalle, unterschiedliche Gitterzustände, ein Konzentrationsgradient im Elektrolyt
- 46) *Wodurch entsteht Kontaktkorrosion?*
Durch unterschiedliche Konzentrationen von Sauerstoff an Kontaktstelle und in umgebender Lösung.
- 47) *Was ist Reibkorrosion?*
Durch Kontakt zweier Reibpartner werden kleine Metallpartikel aus der Materialoberfläche gelöst. Dadurch vergrößert sich die Oberfläche und der korrosionsbeständige Passivfilm wird beschädigt.
- 48) *Wie entsteht Spannungskorrosion?*
Ist ein Werkstoff anfällig, in einer aggressiven Elektrolytlösung und treten lokal hohe Spannungen auf kommt es zu Versetzungen im Werkstoff durch plastische Verformung. An der Versetzungskante ist die Deckschicht gestört und das Material korrodiert.
- 49) *Definieren Sie Verschleiß.*
Verschleiß ist der Werkstoffabtrag an der Oberfläche eines Bauteils unter überwiegend mechanischer Einwirkung. (Kräfte und Relativbewegungen).
- 50) *Nennen Sie Faktoren von denen Reibung und Verschleiß abhängen.*
Grundkörper, Gegenkörper, deren Paarung, Zwischen- und Umgebungsmedium, Belastung und Bewegung
- 51) *Was ist Ablation?*
Ablation ist Verschleiß eines Bauteils durch Zersetzung bzw. Verdampfung an der Oberfläche durch hohe Energiedichte.